



2017 “东华科技-陕鼓杯”
全国大学生化工设计大赛

湖北宜化含硫废气处理
并资源化利用年产 6 万吨硫脲项目

反应器设计说明书

湖北文理学院
五颜六色队



“东华科技—陕鼓杯”

第十一届全国大学生化工设计大赛

湖北宜化含硫废气处理并资源化利用

年产 6 万吨硫脲项目

反应器设计说明书

设计单位	湖北文理学院化科院
设计团队	五颜 liu 色
成员姓名	卢丽华 李娜 何云凡 秦银银 熊亮
指导教师	徐想娥 汪万强 程振锋 田志高 鲁俊

2017 年 7 月 10 日



目录

第一章 概述	4
1.1 设计目标	4
1.2 反应器介绍	4
1.2.1 固定床反应器	4
1.2.2 流化床反应器	7
1.2.3 鼓泡塔反应器	8
1.2.4 搅拌釜式反应器	13
1.2.5 膜式反应器	14
1.2.6 填料塔反应器	16
1.2.7 板式塔反应器	17
1.2.8 喷雾塔反应器	18
1.2.9 工业选择反应器要求	19
第二章 尿素常压脱水反应器设计	20
2.1 列管式固定床反应器说明书	20
2.2 反应器设计物性条件	21
2.3 反应器设计计算	21
2.3.1 空速	22
2.3.2 所需催化剂的体积	22
2.3.3 装填高度	22
2.3.4 压降计算	22
2.3.5 反应器内径确定	22
2.3.6 传热面积	22
2.3.7 筒体材料与壁厚	22
2.3.8 反应器计算结果	23
2.3.9 反应器设计图样	23



第一章概述

化学反应过程和反应器是化工生产流程中的中心环节，反应器设计往往占有重要地位。由于反应器单元内部涉及很多复杂的过程，如：热量的传递，温度的变化，反应速率的变化，而这些都将影响产品的产量和质量。所以反应器一直以来都是化工设计的一个难题。反应器设计的好坏也关系到整个生产过程是否能正常运行。

1.1 设计目标

反应器为工艺流程中反应进行的场所，主要需要满足：

- (1) 反应器有良好的传热能力；
- (2) 反应器内温度分布均匀；
- (3) 反应器有足够的壁厚，能承受反应压力；
- (4) 反应器结构满足反应发生的要求，保证反应充分；
- (5) 反应器材料满足反应物腐蚀要求；
- (6) 保证原料有较高的转化率，反应有理想的收率；
- (7) 降低反应过程中副反应发生的水平。

1.2 反应器介绍

本设计的主要反应为由固体催化剂催化的气相反应以及由固体催化的气液相反应，常见的气固相反应器主要有固定床和流化床两大类。而常见的气液相反应器主要有鼓泡塔反应器，鼓泡管反应器，搅拌釜式反应器，膜式反应器，填料塔反应器，板式塔反应器，喷雾塔反应器，高速湍动反应器

1.2.1 固定床反应器

固定床反应器又称填充床反应器，是一种装填有固体催化剂用以实现多相反应的反应器。固体催化剂通常呈颗粒状，粒径2~15 mm，堆积



成一定高度（或厚度）的床层，床层静止不动，流体通过床层进行反应。

我国的固定床反应器技术比较成熟，主要用于气固相催化反应，反应器包括氨合成塔、二氧化硫接触氧化器、烃类蒸汽转化炉等设备。

固定床反应器可分类为三种基本形式：

轴向绝热式固定床反应器（见图 1-1）。流体沿轴向自上而下流经床层，床层同外界无热交换。

径向绝热式固定床反应器（见图 1-2）。流体沿径向流过床层，可采用离心流动或向心流动，床层同外界无热交换。径向反应器与轴向反应器相比，流体流动的距离较短，流道截面积较大，流体的压力降较小。但径向反应器的结构较轴向反应器复杂。以上两种形式都属绝热反应器，适用于反应热效应不大，或反应系统能承受绝热条件下由反应热效应引起的温度变化的场合。

列管式固定床反应器（见图 1-3）。反应器由多根反应管并联构成。管内或管间置催化剂，载热体流经管间或管内进行加热或冷却，管径通常在 25~50mm 之间，管数可多达上万根。列管式固定床反应器适用于反应热效应较大的反应。

此外，尚有由上述基本形式串联组合而成的反应器，称为多级固定床反应器。例如：当反应热效应大或需分段控制温度时，可将多个绝热反应器串联成多级绝热式固定床反应器（见图 1-4），反应器之间设换热器或补充物料以调节温度，以便在接近于最佳温度条件下操作。

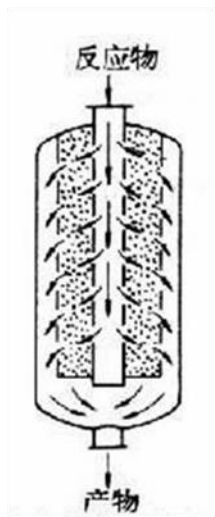
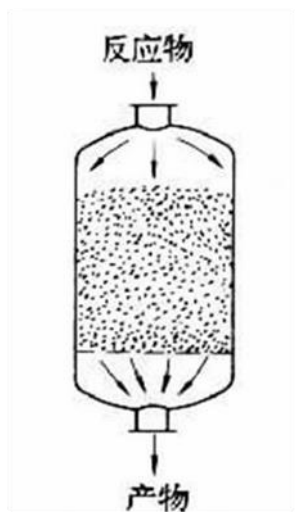


图 1-1 轴向绝热式固定床反应器 图 1-2 径向绝热式固定床反应

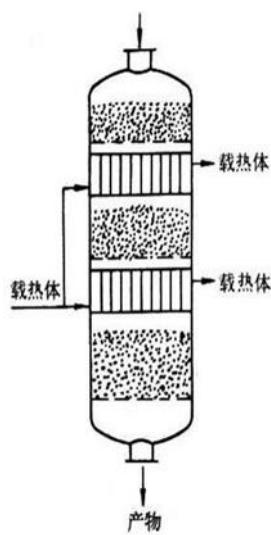
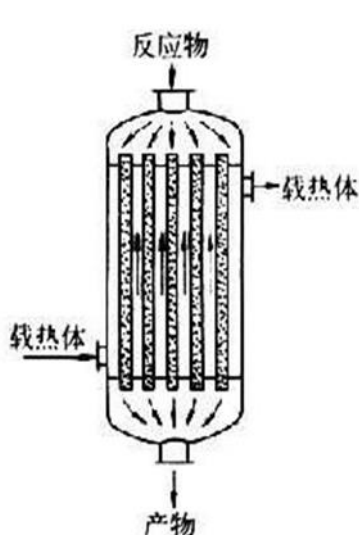


图 1-3 列管式固定床反应器 图 1-4 多级绝热式固定床反应器

固定床反应器有如下优点：

- (1) 可以严格控制停留时间，温度分布可以适当调节，流体同催化剂可进行有效接触，当反应伴有串联副反应时可得较高选择性。
- (2) 反应速率较快，可用较少量的催化剂和较小的反应器容积来获得较大的生产能力。
- (3) 催化剂机械损耗小。
- (4) 结构简单。但另一方面，固定床反应器：



(5) 传热差，反应放热量很大时，即使是列管式反应器也可能出现飞温（反应温度失去控制，急剧上升，超过允许范围）。

(6) 操作过程中催化剂不能更换，催化剂需要频繁再生的反应一般不宜使用，常代之以流化床反应器或移动床反应器。

1.2.2 流化床反应器

流化床反应器是一种利用气体或液体通过颗粒状固体层而使固体颗粒处于悬浮运动状态，并进行气固相反应过程或液固相反应过程的反应器。在用于气固系统时，又称沸腾床反应器。按流化床的运用状况主要分为以下两类：(1) 一类 是有固体物料连续进料和出料的装置，主要用于固相加工过程或催化剂迅速失活的流体相加工过程。例如催化裂化过程，催化剂在几分钟内即显著失活，须用上 述装置不断予以分离后进行再生。(2) 另一类是无固体物料连续进料和出料装 置，主要用于固体颗粒性状在相当长时间（如半年或一年）内，不发生明显变化的反应过程，如石油催化裂化、酶反应过程等催化反应过程，称为流体相加工过 程。常见的两类流化床如图 1-5 所示：

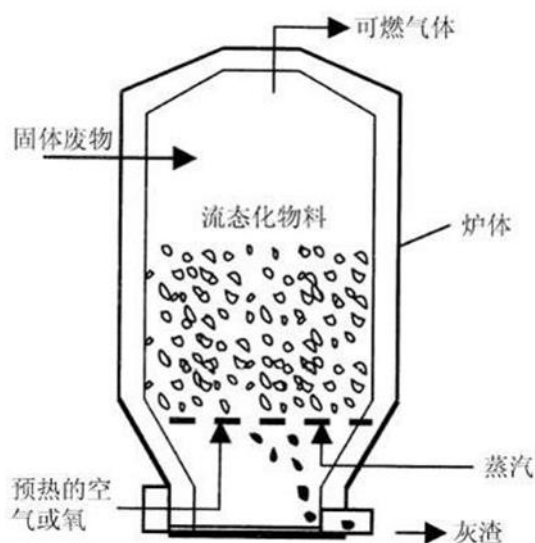


图 1-5 流化床反应器工作示意图



与固定床相比，流化床反应器的特点主要有以下几点：可以实现固体物料的连续输入和输出；流体和颗粒的运动使床层具有良好的传热性能，床层内部温度均匀，而且易于控制，特别适用于强放热反应。流化床适合使用细粒子催化剂，易消除内扩散阻力，能充分发挥催化剂的效能。

由于返混严重，可对反应器的效率和反应的选择性带来一定影响。再加上气固流化床中气泡的存在使得气固接触变差，导致气体反应得不完全。因此，通常不宜用于要求单程转化率很高的反应。

固体颗粒的磨损和气流中的粉尘夹带，也使流化床的应用受到一定限制。为了限制返混，可采用多层流化床或在床内设置内部构件。这样便可在床内建立起一定的浓度差或温度差。此外，由于气体得到再分布，气固间的接触亦可有所改善。

1.2.3 鼓泡塔反应器

鼓泡塔是一种常用的气液接触反应设备，各种有机化合物的氧化反应，如乙烯氧化生成乙醛、乙醛氧化生成醋酸或醋酸酐、环己醇氧化生成己二酸、环己烷氧化生成环己醇和环己酮、及石蜡和芳烃的氯化反应、C18-20 烃氧化生成皂用脂肪酸、对二甲苯氧化生成苯二甲酸、在硫酸水溶液中异丁酸水解生成异丁烯、氨水碳化生成碳酸氢铵等反应都采用鼓泡塔。在鼓泡塔中，一般不要求对液相作剧烈搅拌，蒸汽以气泡状吹过液体而造成的混合已足够。

优点：气相高度分散在液相中，因此有大的持液量和相际接触表面，使传质和传热的效率较高，它适用于缓慢化学反应和强放热情况。同时反应器结构简单、操作稳定、投资和维修费用低。

1、塔内充满液体，气体从反应器底部通入，分散成气泡沿着液体上升，既与液相接触进行反应同时搅动液体以增加传质速率。



2、这类反应器适用于液体相也参与反应的中速、慢速反应和放热量大的反应。

3、鼓泡塔反应器结构简单、造价低、易控制、易维修、防腐问题易解决，用于高压时也无困难。

缺点:液相有较大返混现象，当高径比较大时，气泡合并速度增加，使相际接触面积减小。

1.2.3.1 鼓泡塔反应器的分类

工业所遇到的鼓泡塔反应器，按其结构可分为空心式、多段式、气体提升式和液体喷射式。空心式鼓泡塔（见图1-6）在工业上有广泛的应用。这类反应器最适用于缓慢化学反应系统或伴有大量热效应的反应系统。若热效应较大时，可在塔内或塔外装备热交换单元（见图1-7）。

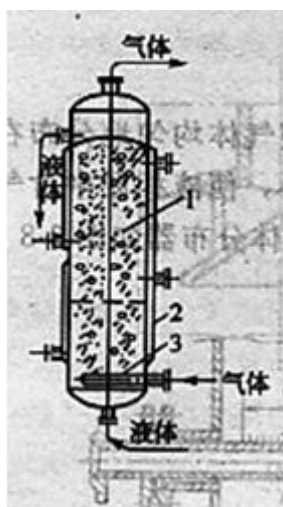


图 1-6 空心式鼓泡塔

1—塔体；2—夹套；
3—气体分布器

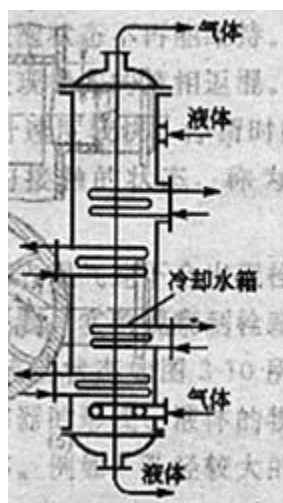


图 1-7 具有塔内热交换单元的鼓泡塔

为克服鼓泡塔中的液相返混现象，当高径比较大时，常采用多段鼓泡塔，以提高反应效果（见图1-8）。当高粘性物系，例如生化工程的发酵、环境工程中活性污泥的处理、有机化工中催化加氢（含固体催化剂）等情况，常用气体提升式鼓泡反应器（见图2.4）或液体喷射式鼓泡反应



器（见图 2.5），此种利用气体提升和液体喷射形成有规则的循环流动，可以强化反应器传质效果，并有利于固体催化剂的悬浮。此类又统称为环流式鼓泡反应器。它具有径向气液流动速度均匀、轴向弥散系数较低，传热、传质系数较大，液体循环速度可调节等优点。

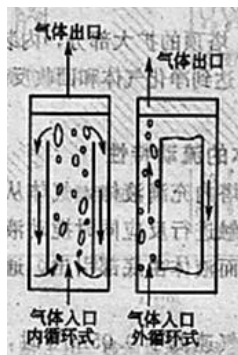
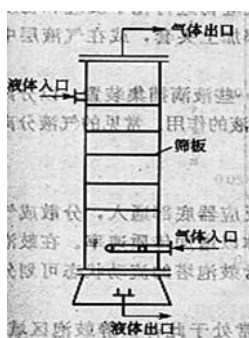


图 2.3 多段式气液鼓泡塔 图 2.4 气体提升式鼓泡反应器 图 2.5 液体喷射式鼓泡反应器

1.2.3.2 鼓泡塔反应器的特点与结构

A、鼓泡塔反应器中流体的流动特性

鼓泡塔的流体力学特性：

塔内液体流动状态：由空塔气速 U_{OG} 决定

空塔气速 $U_{OG} = v_0 / A_t$

在正常操作情况下，鼓泡塔内充满液体，气体从反应器底部通入，分散成气泡沿着液体上升，即与液相接触进行反应同时搅动液体以增加传质速率。在鼓泡塔反应器中，气体由顶部排出而液体由底部引出。通常鼓泡塔的流动状态可划分为如下三个区域。

a、安静鼓泡区

$U_{OG} < 4.5-6 \text{ cm/s}$ 气体通过分布器几乎呈分散的有次序的鼓泡，既能达到一定的流量，又很少出现返混。在该区域内，当表观气速低于 0.05m/s 时，常处于此种安静鼓泡区域。此时，气泡呈分散状态，气泡大小均匀，进行有秩序的鼓泡，液体搅动微弱，可视为均相流动区域。



b、湍流鼓泡区

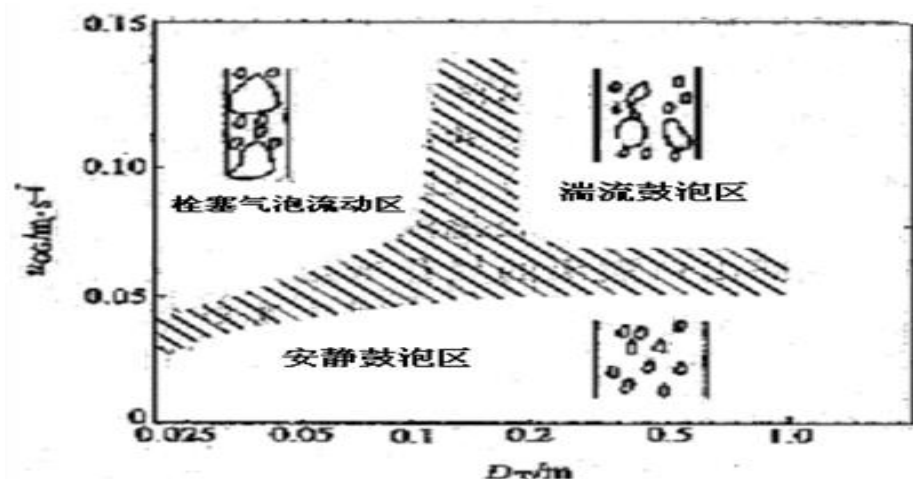
$UOG > 8 \text{ cm/s}$ 气泡不断地分裂、合并，并产生激烈无定向运动。塔内液体扰动剧烈，返混严重，流型接近 CSTR。该区域表观气速较高，塔内气液剧烈无定向搅动，呈现极大的液相返混。此时部分小气泡凝聚成大气泡，气体以大气泡和小气泡两种形态与液体接触，大气泡上升速度较快，停留时间较短，小气泡上升速度较慢，停留时间较长。形成不均匀接触的流动状态，称为剧烈扰动的湍流鼓泡区，或称为不均匀湍流鼓泡区。

c、栓塞气泡流动区

在直径小于 0.15m 的鼓泡塔中，实验观察到在较高表观气速下会出现栓塞气泡流动状态，这是由于大气泡直径被鼓泡塔的器壁所限制。鼓泡塔中液体流动状态(如图 2.6)所示，

图中三个流动区域的交界是模糊的，这是由于气体分布器的形式、液体的物理化学性质和液相的流速一定程度影响了流动区域的转移。例如。孔径较大的分布器在很低的气速下就成为湍流鼓泡区；高粘度的液体在较大的鼓泡塔中也会形成栓塞流，而在较高气速下才能过渡到湍流鼓泡区。

工业鼓泡塔的操作常处于安静区和湍流区两种流动状态中，一般应保持在均匀流动的安静区才为合理。



鼓泡塔流动状态

B. 气泡尺寸

a. 气泡的形成:

UOG 较低时: 气体分布器

UOG 中等时: 气体分布器加液体湍动

UOG 较高时: 液体湍动使气流破碎成气泡。

b. 单个气泡的形状和直径

形状: $db < 0.2\text{cm}$ 垂直上升的坚实圆球.

$0.2 \leq db \leq 1.0\text{cm}$ 螺旋式摆动上升的椭圆球

$db > 1.0\text{cm}$ 垂直上升的菌帽状

条件:
$$Re_0 = \frac{d_0 u_0 \rho_G}{\mu_G} < 200$$

1.2.3.3 鼓泡塔中的传质

一般气膜传质阻力较小, 可以忽略, 液膜传质阻力的大小决定了传质速率的快慢。欲提高单位相界面的传质速率, 即提高传质系数, 则必须提高扩散系数。

扩散系数不仅与液体物理性质有关, 而且还与反应温度、气体反应物的

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/268100055011007020>